第**卷第**期
****年**月

Vol. **, No. **
** ****

DOI:
张震 国产多功能电能表技术演进研究［J］.****，****，**，（**）：00-00
ZHANG Zhen Research on the evolution of domestic multi-functional meter technology［J］.****，****，**，（**）：00-00

国产多功能电能表技术演进研究

张震[1]
1.华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100

摘 要：对国产多功能电能表的技术演进进行了深入的探讨。随着国内电力市场的快速发展和技术的不断创新，国产多功能电能表经历了从简单计费到复杂多功能、从单一应用到广泛领域的转变。这种转变不仅推动了电能表技术的快速发展，也满足了日益增长的电力需求和管理要求。文章从多功能表概念，采用数字乘法器的电能表工作原理及算法，多功能电能表标准的起缘及演进，国产多功能电能表产品的起缘及演进四个方面进行阐述。尽管国内自主生产的多功能表在性能上取得了不俗的成绩，但在可靠性和关键工艺技术方面仍有待提高。此外，通信技术的发展也为电能表技术的进步提供了新的机遇。新技术的应用，为电能表的数据传输和远程管理提供了更加便捷和高效的方式。国产多功能电能表在技术演进和应用拓展方面取得了显著的成就，但仍面临一些挑战和机遇。未来，随着电力市场的不断发展和智能电网建设的推进，国产多功能电能表需要继续加强技术创新和产品研发，提高产品的可靠性和竞争力，以满足更高的应用需求和市场要求。
关键词：多功能电能表 模拟乘法器 数据处理单元
中图分类号：TM933.4 **文献标识码：** **文章编号：**

Research on the evolution of domestic multi-functional meter technology

ZHANG Zhen
Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co.，Ltd.，Jinan，shandong 250100，China

Abstract: The technical evolution of domestic multi-functional electric energy meters was discussed in depth. With the rapid development of the domestic power market and the continuous innovation of technology, domestic multi-functional electric energy meters have experienced the transformation from simple billing to complex multi-functional, from a single application to a wide range of fields. This transformation has not only driven the rapid development of energy meter technology, but also met the increasing demand for electricity and management requirements. This paper expounds the concept of multi-function meter, the working principle and algorithm of electric energy meter using digital multiplier, the origin and evolution of multi-functional electric energy meter standard, and the origin and evolution of domestic multifunctional electric energy meter products. Although the domestic self-produced multi-function watch has achieved good results in performance, it still needs to be improved in terms of reliability and key process technology. In addition, the development of communication technology also provides new opportunities for the advancement of energy meter technology. The application of new technologies provides a more convenient and efficient way for the data transmission and remote management of electric energy meters. Domestic multi-functional electric energy meters have made remarkable achievements in technology evolution and application expansion, but they still face some challenges and opportunities. In the future, with the continuous development of the power market and the advancement of smart grid construction, domestic

收稿日期： 修回日期：
基金项目：
作者简介：张震 男 （1977- ）从事电能计量技术研究 721047546@qq.com
通信作者：
Received date： Revised date：
Foundation item：
Corresponding author：

multi-functional electric energy meters need to continue to strengthen technological innovation and product research and development, improve product reliability and competitiveness, and meet higher application needs and market requirements.

Key words: Multi-function meter Analog multiplier Data Processing Unit

0 引言

在现代电力系统中，多功能电能表扮演着至关重要的角色。它不仅是电力系统运行监控的基础设备，还是实现能源管理、经济核算和节能减排等目标的重要工具。

多功能电能表能够实时监测和记录电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数等关键参数，为电力系统的监控和管理提供准确的数据支持。通过对这些数据的分析，电力运营商可以了解系统的运行状态，及时发现和处理潜在问题，确保电力系统的稳定运行。多功能电能表能够提供详细的电能消耗数据，帮助电力用户和企业进行能源管理和经济核算。通过对电能消耗数据的分析，用户可以找出能源使用中的浪费点，制定节能措施，降低能源成本。同时，这些数据还可以用于电力市场的交易和结算，为电力市场的公平、透明运行提供有力保障。多功能电能表通过实时监测电能消耗和排放情况，为电力系统的节能减排和环境保护提供数据支持。通过对电能消耗数据的分析，电力运营商可以优化系统运行方式，降低排放和污染，实现绿色、低碳的电力供应。多功能电能表在现代电力系统中发挥着至关重要的作用。随着技术的不断进步和应用需求的不断提高，多功能电能表将不断发展和完善，为电力系统的稳定运行和可持续发展提供有力保障。目前，国际上还没有看到统一的多功能电能表国际标准。国内，从1992年起，多功能电能表的概念、标准和产品陆续推出、改进并已趋向完整。

1、 多功能表概念

此概念，本文作者最早见于1995年3月刊载在《电能计量现代化-华东电网电能计量技术现状和展望技术报告》第二部分：“改进分时计量技术，稳步发展多功能表”。

1）多功能表概念：该报告指出：“电子技术的发展给多功能电度表创造了基础。多功能电度表一般除分时计量外，还包括需量计量及负荷控制、负荷调查代表日负荷曲线等功能，简化了用户计量点表计，方便数据采集，应注意促其发展”。

2）该报告撰写过程

— 1992年，华东电业管理局技委会组建课题组起草。课题组由华东电业管理局及其省电网14名专家组成。

— 1993年，分题素材陆续完成。

— 1994年，由华东电业管理局 曾乃鸿补充搜资和执笔，经审阅后印成初稿，最终写成该报告。

3）本文点评

国产多功能表的起步和发展，原能源部电力司和华东电业管理局起着铺路、引领作用，其推进国产高端电表发展的成果：

— 国内，首次发布区域电网电能计量现代化技术报告，提出国产多功能表开发、应用课题。

— 组织起草国内首部多功能表机械行标、电力行标，为国产多功能表产品开发、应用提供依据。

2、 采用数字乘法器的电能表工作原理及算法

本部分主要内容摘自中国电科院《新型电力系统动态电能计量关键技术》，并经编辑而成。

1）采用数字乘法器的电能表工作原理

— 有功电能计量方法：

由（交流电压取样-模数转换器ADC电路与交流电流取样-ADC-高通滤波器HPF电路）并联- 数字乘法器-低通滤波器LPF -校正-积分-数字频率转换-脉冲输出-有功电能。

— 无功电能计量方法：

与有功电能计量共用（交流电压取样-ADC电路与交流电流取样-ADC -HPF电路）并联后，再串接Hilbert滤波器-数字乘法器-LPF-校正-积分-数字频率转换-脉冲输出-无功电能。

2）数字乘法器的功率算法

— 时域：点积和数值积分算法；Walsh交叠算法；加权平均算法；窗函数卷积算法。

— 频域：（加窗插值）DFT算法；FFT算法。

— 时频域：小波变换；S变换；现代谱估计与智能算法。

以上算法可计算电参量：有功功率/电能；无功功率/电能；视在功率/电能；电压、电流有效值；基波频率。

— 电能表积分算法典型案例

这里的内容，摘自2010年威胜《复化Newton-Cotes积分算法在电能计量中的应用》。

威胜产的DTSD341 -MA1型、0.1S级高准确度

结算关口电能表的有功计量，采用复化Newton-Cotes高阶积分算法。

对于含有最高n次谐波的信号，要准确计算信号的电量、功率、有效值等参量，须保证第n次谐波信号采样3点以上，即信号的采样频率须保证每个基波周期信号采样3n点以上。

要提高点积算法对任意确定输入信号的计算准确度，可利用高阶积分算法。Newton-Cotes算法是一类实用、易于数字化实现的数值求积算法。n阶Newton -Cotes算法至少有n次代数精度。

3、 多功能电能表标准的起缘及演进

多功能电能表标准中的电能表定义、电表类型、准确度、多功能4类技术要求，反映国产多功能表在不同时期的技术发展水准。其中：

多功能表的功能最为复杂，可分基本功能、扩展功能两大类。

第1大类 基本功能。经汇总分析多功能表、智能电表、新一代智能电表7个标准（不包括智能物联电能表标准），其中，国网标准Q/GDW 1354- 2013《智能电能表功能规范》功能较完整，有前瞻性，可作为不同标准比较的参考水准。其功能又分两类：第1类 数据/信息/软件输出功能，包括通用（多功能表、智能电表）输出功能，专用（智能电表）输出功能两部分；第2类 内部数据/信息/软件形成、处理功能。

1）参考水准：2013年3月，国网标准Q/GDW 1354- 2013《智能电能表功能规范》发布。

一是，智能电能表定义：由测量单元、数据处理单元、通信单元等组成，具有电能量计量、信息存储及处理、实时监测、自动控制、信息交互等功能的电能表。

二是，电表类型：静止式电能表

三是，准确度：电能表按有功电能计量准确度等级可分为0.2S、0.5S、1、2 四个等级。

四是，功能

— 第1大类 基本功能（30项119条细则）

•第1类 数据/信息/软件输出功能（23项95条细则）

以下为通用（多功能表、智能电表）输出功能（14项58条细则）：

其一，计量单向或双向有功总电量及分相电量，单向或四象限无功总电量-1条细则（不采用各分相有功电量相加方式计算有功总电量）。

其二，计量组合有功电能和组合无功电能。

其三，通过软件编程，计量特殊组合方式的无功电能。

其四，计量分时段的有功电能、无功电能-2条细则。

其五，需量测量-5条细则。

其六，时钟及校时-5条细则。

其七，事件记录-22条细则。

其八，通信要求-8条细则。

其九，通信方式类型-5条细则（RS485 、红外通信、载波通信、公网通信、微功率无线通信）。

其十，信号输出-3条细则（脉冲输出、多功能信号输出、控制输出）。

其十一，电网运行参数监测-4条细则。

其十二，安全保护-3条细则（清零、编程、参数设置）

其十三，恒定磁场监测

其十四，电能表软件比对功能

以下为专用（智能电表）输出功能（9项37条细则）：

其一，费控功能-14条细则。

其二，负荷记录-3条细则。

其三，阶梯电价-5条细则。

其四，停电抄表-2条细则。

其五，保电功能-5条细则。

其六，报警-3条细则。

其七，辅助电源-3条细则。

其八，安全认证-2条细则。

其九，负荷开关误动作检测功能

•第2类 内部数据/信息/软件形成、处理功能（7项24条细则）

其一，数据/信息/软件形成功能

其二，数据/信息/软件处理功能

其三，费率和时段-4条细则。

其四，清零-2条细则（电能表清零、需量清零）。

其五，数据存储-4条细则。

其六，冻结-6条细则（定时冻结、瞬时冻结、日冻结、约定冻结、整点冻结、冻结内容）。

其七，显示-8条细则。

— 第2大类 扩展功能：（无）。

— 本文点评

Q/GDW 1354- 2013标准提出的数据/信息/软件通用（多功能表、智能电表）输出功能，总结国产此类电表近20年的开发、应用经验，顺应近几年智能电网发展对计量技术的新需求。其主要特征：

•提出4个类型电能计量，包括有功、无功总电能及有功分相电能，组合有功、无功电能，编程组合无功电能，分时有功、无功电能。

•提出时钟电路及校时方法

•提出5类事件记录（22条细则）：电源工作不正常（6条细则），电网运行不正常（6条细则），电表工作记录（5条细则），防窃电功能（3条细则），事件上报、记录（2条细则）。

•明确5类通信方式：RS485、红外通信、载波通信、公网通信、微功率无线通信。

•提出恒定磁场监测及事件记录，作为防窃电措施。

•提出电能表软件比对功能

•提出负荷开关误动作检测功能

•但是，该标准编制存有一些短板，特别是：

其一，智能电表的智能化：自动控制、信息交互功能项目不多、要求不到位；未提到双向通信模块要求；未引入网关应用。

其二，未提到计量基波有功电能、谐波有功电能。

其三，未提到IR46标准-有功电能表国际计量建议的要求。

— 该标准归口单位：国家电网公司科技部

该标准主要起草人：林繁涛、章欣、杨湘江等14名专家。

以下叙述1995 -2020年，多功能表、智能电表、新一代智能电表标准的起缘及演进。

2）1995年3月，国内首部机械行标JB/T 7656-95《多功能电度表》发布。

一是，多功能电度表定义：由测量单元与数据处理单元构成，可完成多种计费方式、负荷管理和远距离传送数据等功能的表计。

二是电表类型：按工作原理分为机械电子式多功能电度表；电子式多功能电度表。

三是，准确度：有功部分为0.2、0.5和1.0级；无功部分为2.0级。

四是，功能：

— 第1大类 基本功能（12项30条细则）

•第1类 数据/信息/软件（通用）输出功能（6项25条细则）：

其一，电能计量功能：在指定的时间区间 ，从系统接收有功和（或）无功总电能量；计量向系统输出有功和（或）无功总电能量；

其二，计量峰、谷、平时段的有功和（或）无功分电量-1条细则。

其三，计量时间间隔为15min的最大需量；需量计量方式，可以是区间式，亦可以是滑差式，滑差区间1min。-3条细则。

其四，用外接或内附编程器预置数据。-7条细则。

其五，监控功能-9条细则。

其六，数据传输-5条细则。

•第2类 内部数据/信息/软件形成、处理功能（6项5条细则）：

其一，数据/信息/软件形成功能

其二，数据/信息/软件处理功能

其三，时段控制功能-3条细则。

其四，显示-2条细则。

其五，自动复零功能还可手动复零。

其六，有死机自动恢复和程序自检功能。

—第2大类 扩展功能（10项）

具有电压互感器断电、复电时有功、无功电能读数；检错功能；事件记录；计量V2•h和I2•h等10项功能。

— 本文点评

JB/T 7656-95标准反映1995年代，国产多功能电表起步阶段的设计水准。

•电表类型：1995年，感应式电表继续统领国内电表市场；电子式电表已经批量使用；多功能电表处于量少试用阶段。

•有功计量3类乘法器：

其一，感应式电表，采用基于旋转磁场原理的乘法器。

其二，具有模拟乘法器的电子式电表，采用时分割乘法器。

其三，具有数字乘法器的电子式电表，通常采用点积和数值积分算法的乘法器。

•5%基本电流以下计量误差不考核。准确度等级，未提出0.2S、0.5S级要求。

•无功计量，估计只采用正弦波90*移相电路。

•多功能：

与Q/GDW 1354- 2013相比，JB/T 7656-95标准的数据/信息/软件通用输出功能项目及细则都很少：计量类型两项1条细则；未提到：有功组合、无功组合计量，编程组合无功计量，时钟电路及校时，事件记录，5类通信方式，防窃电功能，电能表软件比对功能；基本功能与扩展功能分类交叉，事件记录、检错功能、PT断相电量记录等重要功能都列

入扩展功能。

•软件：初步要求。只提出死机自动恢复和程序自检功能。

— 该标准起草单位：能源部电力司及中国华东电力联合公司和中国电机工程学会用电与节电委员会华东分会。

该标准主要起草人：黄寿海、陈丽、曾乃鸿等6名专家。

3）1997年5月，电力行标DL/T 614-1997《多功能电能表》发布。

一是，多功能电能表定义：由测量单元与数据处理单元构成，除计量有功（无功）电能量外，还具有分时、测量需量等两种以上功能，并能显示、储存和输出数据的电能表。

二是，电表类型：按工作原理分机电式多功能表；电子式多功能表

三是，准确度：0.2、0.5、1、2级和3级。

四是 功能：（略）

— 本文点评

DL/T 614-1997标准在JB/T 7656-95基础上，补充一些新的技术要求。但两项标准的发布时间只差2年，补充新要求不多。

•对多功能，提出功能量的要求。

•准确率：增加3级，用于无功计量。

•功能

其一，第1类 数据/信息/软件通用输出功能：增加事件记录功能-3条细则；未提到：有功组合、无功组合计量，编程组合无功计量，时钟电路及校时、5类通信方式、防窃电功能、电表软件比对功能。

其二，扩展功能：增加数据通信功能，日负荷曲线记录，计量视在电能、鉄损、铜损，负荷监控功能，条码编号功能。

— 该标准归口单位：电力工业部电测量标准化技术委员会。

该标准主要起草人：黄寿海、吴识今、姚文魁等5名专家。

4）2007年10月，中国首部国标 GB/T 17215.301 -2007《多功能电能表 特殊要求》发布

一是，多功能电能表定义：由单一测量机构、数据处理单元、通信接口及其它功能部件组成并包封在一个表壳内，除计量并显示有功电能、无功电能外，还具有分时计量、最大需量测量等两种以上功能，并存储和输出数据的电能表。

二是，电表类型：静止式电表

三是，准确度：有功，0.2S、0.5S、1和2级；无功，2和3级。

四是，功能

— 第1大类 基本功能（12项36条细则）

•第1类 数据/信息/软件通用输出功能（7项20条细则）：

其一，计量单向或双向有功电能量和总电能量，以及计量双向或四象限无功电能量。

其二，计量各费率的有功电能量、无功电能量。

其三，最大需量测量功能-5条细则。

其四，时钟的设置

其五，事件记录功能-9条细则。

其六，测输出装置-4条细则（脉冲输出序列、光电测试输出、工作指示器等）。

其七，数据通信-2条细则（光电接口、红外通信、RS485总线等）。

•第2类 内部数据/信息/软件形成、处理功能（5项16条细则）

其一，数据/信息形成功能

其二，数据/信息处理功能

其三，费率和时段设置功能-3条细则。

其四，测量数据存储功能-4条细则。

其五，显示-9条细则。

— 第2大类 扩展功能（9项）：预付费；计算视在电能以及鉄损、铜损或其它需要的参数等11项功能。

— 本文点评

2005年，国产电子式电表总产量首次超过感应式电表；之后，电子式电表统领国内电表市场。从国标GB/T 17215.301 -2007发布，可以看出国产多功能表技术10年的发展 水准。

•多功能表定义更全面

•准确度：采用0.2S、0.5S级。说明从1%基本电流起 进行计量考核。

•功能

数据/信息/软件通用输出功能：增加事件记录细则（9条）；提出数据通信技术要求和通信协议；未提到：有功组合、无功组合计量，编程组合无功计量，时钟电路要求 ，3类通信方式（载波通信、公网通信、微功率无线通信)，防磁场干扰窃电功能，电表软件比对功能。

扩展功能：重新提出预付费功能。

— 该标准归口单位：全国电工仪器仪表标准

化技术委员会。

该标准主要起草人：徐民、王兆宏、徐和平等17名专家。

5）2007年12月，电力行标DL/T 614-2007《多功能电能表》发布

一是，多功能表定义：与DL/T 614- 1997相同。

二是，电表类型：静止式电表

三是，准确度：分为0.2S、0.5S、1和2级四个等级。

四是，功能

— 第1大类 基本功能（16项51条细则）

•第1类 数据/信息/软件通用输出功能（8项28条细则）：

其一，计量单向或双向有功电能、单向或四象限无功电能。

其二，计量多时段的有功电能、无功电能。

其三，需量测量-6条细则。

其四，事件记录-9条细则。

其五，通信接口类型-2条细则（通信接口、通信要求、通信协议）。

其六，通信接口要求-6条细则。

其七，脉冲输出-3条细则。

其八，电网运行参数测量-2条细则。

•第2类 内部数据/信息/软件形成、处理功能（8项23条细则）：

其一，数据/信息/软件形成功能

其二，数据/信息/软件处理功能

其三，日历、费率、时段-2条细则 。

其四，测量数据存储功能-3条细则。

其五，冻结-3条细则。

其六，清零-2条细则。

其七，显示-8条细则。

其八，软件要求-5条细则 （包括：厂家提供操作应用软件，软件出厂后不允许远程及现场升级更新等）。

— 第2大类 扩展功能（5项）：计量视在电能；谐波电压、电流监测；计算鉄损、铜损；光纤、蓝牙、无线通信方式等5项功能。

— 本文点评

与以前发布的多功能表机械行标、电力行标、国标相比，DL/T 614-2007标准的多功能表技术要求基本可以涵盖：

其一，数据/信息/软件通用功能：电能计量，需量测量，事件记录，通信接口及通信要求，电网运行参数监测，脉冲输出；数据/信息/软件形成、处理功能：费率，数据存储，冻结，清零，显示，都比较完整，还提出电表软件出厂后不允许升级要求；但未提到：有功组合、无功组合计量，编程组合无功计量，时钟电路要求，3类通信方式（载波通信、公网通信、微功率无线通信），防磁场干扰窃电功能，电表软件比对功能。

其二，扩展功能：提到谐波电压、电流监测；光纤、蓝牙、无线通信应用。

6）2009年9月，中国首部国网标准Q/GDW 354-2009《智能电能表功能规范》发布。

一是，智能电能表定义：与前面叙述的国网标准Q/GDW 1354-2013《智能电能表功能规范》相同。

二是，电表类型：静止式电表

三是，准确度：0.2S、0.5S、1、2级四个等级。

四是，功能

— 第1大类 基本功能（25项85条细则）

•数据/信息/软件输出功能（18项65条细则）

以下为通用（多功能表、智能电表）输出功能（11项40条细则）：

其一，正向、反向有功总电量及分相有功电量和四象限无功总电量计量-1条细则（不采用各分相有功电量算术加的方式计算有功总电量）。

其二，组合有功和组合无功电能计量。

其三，分时有功电能、无功电能计量-2条细则。

其四，需量测量-4条细则。

其五，时钟电路及校时-5条细则。

其六，事件记录-15条细则。

其七，通信要求-2条细则。

其八，通信方式类型-4条细则（RS485、红外通信、载波通信、公网通信）。

其九，信号输出-3条细则（脉冲输出、多功能信号输出、控制输出）。

其十，电网运行参数监测-2条细则。

其十一，安全保护-2条细则（编程、读表操作）。

以下为专用（智能电表）输出功能（7项25条细则）：

其一，费控功能-11条细则。

其二，负荷记录-3条细则。

其三，阶梯电价

其四，停电抄表-2条细则。

其五，报警-4条细则。

其六，辅助电源-3条细则。

其七，安全认证-2条细则。

•内部数据/信息/软件形成、处理功能（7项20条细则）：

其一，数据/信息/软件形成功能

其二，数据/信息/软件处理功能

其三，费率和时段-4条细则。

其四，清零-2条细则（电能表清零、需量清零）。

其五，数据存储-2条细则。

其六，冻结-5条细则（定时清零、瞬时清零、日清零、约定清零、整点清零）。

其七，显示-7条细则 。

— 第2大类 扩展功能：（无）。

— 本文点评

从国产多功能表到智能电表开发、应用是国产电能表技术发展的新跨越。

国网推出Q/GDW354-2009《智能电能表功能规范》，对中国多功能表标准演进具有承前启后作用。

对前面的电力行标DL/T 614/2007标准来说，Q/GDW 354-2009标准是超前的，提出有功组合、无功组合电能计量，时钟电路要求，事件记录细则增多，载波通信、公网通信方式；费率功能，负荷记录，阶梯电价，停电抄表，安全认证功能等。

对后续Q/GDW 1354-2013标准来说，Q/GDW 2009标准要迟后，未提到：编程组合无功计量，微功率无线通信，防磁场干扰窃电功能，电表软件比对功能，负荷开关误动作检测，智能化项目，基波有功电能、谐波有功电能计量。

7）2020年8月，国网标准 《智能电能表（2020版）通用技术规范- 四、智能电能表功能规范》发布。

国网智能电表（2020版）是新一代智能电表。其《智能电能表（2020版）通用技术规范》的4项规范，分别引用IR46有功电能表国际计量建议的有关要求。

一是，智能电能表定义：与Q/GDW 1354-2013《智能电能表功能规范》相同。

二是，电表类型：静止式电表

三是，准确度：有功计量，B、C、D级；无功计量，2级 。

四是，功能

— 第1大类 基本功能

·第1类 数据/信息/软件输出功能：

其一，与Q/GDW 1354-2013标准基本相同（12项）：计量有功、无功的总电量、组合电量、分时电量、分相电量，需量测量，时钟及校时，通信要求，通信方式类型，信号输出，恒定磁场监测，电能表软件比对功能。

不同功能：

其二，事件记录- 26条细则，增加4条细则（时钟故障记录、计量芯片故障记录、电能表零钱电流异常记录等）。

其三，电网运行参数监测-7条细则，增加3条细则（三相电能表提供越限监测功能等）。

以下为专用（智能电表）输出功能：

其一，与Q/GDW 1354-2013标准基本相同（7项）：费控功能，阶梯电价，停电抄表，保电功能，报警，辅助电源，负荷开关误动作检测。

其二，删去2项：负荷记录，安全认证。

·第2类 内部数据/信息/软件形成、处理功能，有些变化。

其一，与Q/GDW 1354-2013标准基本相同（4项）：数据/信息/软件形成、处理功能，费率和时段，显示功能。

不同功能：

其二，清零-3条细则，增加1条细则（事件清零）。

其三，冻结-10条细则，增加4条细则（分钟冻结、月冻结、结算日冻结、阶梯结算冻结）。

其四，删去功能：数据存储

— 第2大类 扩展功能：（无）。

— 本文点评

2020版国网智能电表功能规范沿用Q/GDW 1354-2013标准的功能：数据/信息/软件通用输出功能12项，专用输出功能7项，内部数据/信息/软件形成、处理功能4项；4项功能增加几条细则；3项功能删去。说明Q/GDW 1354-2013《智能电能表功能规范》，经过7年的应用，目前还有76%的功能适用 。

这次2020版智能电表功能规范最大改变是准确度：有功计量，采用B、C、D级；无功计量，采用2级。这里，有功计量准确度采用IR46 有功电能表国际计量建议的表示方式；无功计量仍沿用IEC电表标准的表示方式。这使多功能表的有功、无功功率准确度检测复杂化。

同时，对电表智能化项目，基波、谐波有功计量开发应用，未提出新的功能。

8）关于最新标准：《智能物联电能表功能及软件规范》

2022年1月，国网发布Q/GDW 12180 -2021《智能物联电能表功能及软件规范》。

但是，2022年是国网智能物联表第二年招标，

其第1批次招标量还是不大，只占同批次招标设备总量的2.1%；同时，对智能物联表应用出现一些争议问题，主要是表计价格偏高；扩展功能都是选项，非必用项；首次采用嵌入式通用操作系统不实用，而电能表的一些特殊要求，需要开发嵌入式专用操作系统。

鉴于以上情况，本文将暂不讨论国网Q/GDW 12180-2021 《智能物联电能表功能及软件规范》。

4、 国产多功能电能表产品的起缘及演进

国产多功能表：从1992-2021年30年的发展，由机械电子式多功能表起缘，经采用模拟乘法器的多功能表、具有数字乘法器（四类）的多功能表、智能电表到新一代智能电表5代产品技术的演进。

对多功能表技术性能的评价，主要有4个方面：多功能表结构，计量新技术；准确度；多功能/智能化。

1）1992年，上海电度表厂首先推出自主设计的DSD8型、0.5级、机械电子式三相三线多功能表。

— 多功能表结构：由感应式基表、红外光电传感器、电子式多功能记录器组成。

— 采用基于旋转磁场原理的功率乘法器。

— 多功能：有功总电量计量；分时电能计量：区间或滑差式最大需量；磁吸式红外通信；自检测试功能；抗干扰能力强。

— 本文点评

机械电子式多功能表是国产第一代多功能表，实现有功电能计量为基础的多功能。由于没有无功计量基础技术，多功能发展受限制。

2）1994年8月，威胜在国内首先研发出采用数字乘法器的DSSD331型/DTSD341型、0.5S级电子式三相三线/三相四线多功能表

— 多功能表结构

：全电子式多功能表由电流传感器（CT）、电压传感器（PT）、模数转换器（A/D）、微计算机专用芯片和显示器（LED）等部分组成。

— 数字乘法器：在微计算机专用芯片内，对数字化的电流、电压瞬时值进行各种判断处理和运算。

— 多功能

•正向、反向有功电能，感性、容性无功及四象限无功电能。

•分时计量有功电能、无功电能。

•有功、无功最大需量。

•电网有功功率、无功功率、电压、电流、功率因数及频率监测。

•负荷曲线记录

•两个独立可同时工作的RS485接口、吸附式红外接口。

•4路空接点脉冲辅助端子输出

•事件记录8类

•自诊断功能、故障报警功能

•电压、电流谐波分析功能，最高21次谐波。

— 新型电表通过部级鉴定

•同年，威胜新型电表在原机械部基础装备司主持下 ，通过部级鉴定。

鉴定委员会主任：费正生教授

电力部参加鉴定会的专家有曲涛、陈俪、宗建华。

•鉴定结论：该产品性能指标和外观结构均达到国际上九十年代初期同类产品先进水平，处于国内同类产品领先地位。

— 本文点评

威胜是国内首家、最早推出采用数字乘法器的多功能表。

数字乘法器的多功能表是国产第三代第1类采用微计算机芯片的多功能表。通过周期波形的采样，可以进行多功能运算，包括电网电压、电流、相角 、有功功率、无功功率、视在功率、频率、谐波含有量等。

起先，数字乘法器只应用于低等级的多功能表。后来，经提高采样速率、计算精度，可以应用到0.1S级电网关口多功能表及标准电能表上。

现在，采用数字乘法器的多功能表，以易于实现多功能、成本低、产品开发周期短的优势，成为国产多功能表的主流。

但是，数字乘法器的A/D采样软件是非实时的，存在很大的缺陷。对非周期、非稳定信号以及谐波含量高的场景，不能对有功功率进行准确计算。同时，不同厂家的产品即使硬件相同，实际的品质、性能水准，还可能有较大的差异，主要是厂家软件能力无法进行统一标准的考核。

3）1995年12月，宁光电工厂推出采用时分割乘法器集成电路的DSSF22A-X型/DTSF22A-X型、1级电子式三相三线/三相四线智能型多功能表。

— 多功能表结构：该多功能表采用电度表专用集成电路、不挥发性存储器、专用电卡、大屏幕液晶显示等多项技术。

— 模拟乘法器：据了解，1991年，宁光电工

厂委托中国航天研究院771所设计出小规模计量专用集成电路，采用时分割乘法器和双积分V/F转换原理。

— 多功能

•有功电量、无功电量、有功需量、无功需量、功率因数、预付费、4费率的精确计量。

•超负荷、超预置电量的报警和自动断电。

•缺相报警记录

•自动抄表

•插卡、拔卡操作，实现用户电表与供电部门售电管理系统之间的信息传输。

•采用多种软件、硬件抗干扰措施。

— 本文点评

宁光电工厂：在国内较早推出采用时分割乘法器集成电路的电子式多功能表。

采用模拟乘法器的多功能表是国产第二代多功能表。

时分割乘法器在有功电能计量技术中占有极重要的地位，具有0.005%计量准确度的（德）C12型标准功率转换器，在国际上是经典应用，在中国计量院作为国家计量工作标准用于标准电能表检定；特别当电压、电流两信号波形有畸变时，时分割乘法器的谐波功率测量值与理论计算结果具有一致性。

1973年，江西省电力试验研究所在国内首次研制出PS-4型单相电子式标准电能表，采用时分割乘法器原理。

但是，时分割乘法器只应用于有功功率计量，作为多功能表，其无功计量及其它功能是重要组成部分，需要补充另类移相电路或A/D采样方案，产生无功计量及其它功能，复杂化。因此，目前，采用时分割乘法器的多功能表市场份额不大。

4）2002年，南京蓝星电力仪表研究所推出0.5S级、全数字的静止式多功能表。

— 多功能表结构：由全数字的CS5460A型测量芯片（集成A/D、电压基准、运放、DSP及数字接口），数字信号运算，数字滤波，数字量修正，数字校调单元等构成，无需任何物理调整元件。

— 数字乘法器：CS5460A芯片采用新一代模数转换技术、DSP数字信号处理器。

— 多功能

•有功电能、无功电能计量。

•分相电能计量

•电压、电流的有效值、瞬时值，功率，功率因数。

•完全数字补偿，包括相位补偿，无需外部器件。

•实现测量过传中变量程处理，对更宽测量范围及对互感器进行非线性补偿。

•时钟备用的超级锂电池，存储寿命大于20年。

— 本文点评

南京蓝星推出的全数字多功能表，是国产第三代第2类采用数字计量芯片的多功能表。其全数字的特征：计量精度、抗干扰、可靠性品质有很大的提升。

南京蓝星，成立于1980年前后，主要从事电力仪表，仪表数据采集装置和软件开发、营销及进出口业务。

估计在2002-2008年，蓝星的全数字电子式多功能表贴牌产品畅销，主要供应大型感应式电表企业转型的多功能表短期贴牌需求，新兴电子式电表企业多功能表开发能力不足的短期贴牌需要。

5）2002年，威胜在国内首次研发出0.2S/0.5S级具有谐波计量功能的电子式多功能表

本部分内容摘自威胜《DSSD331/DTSD341-9A/B/C型电子式多功能电能表》说明书。

— 多功能表结构：采用国际上流行的高端电表设计方案：计量DSP+管理MCU硬件方案 。

— 谐波分析及计量原理：电能表由16位A/D和DSP高速处理器对各相电流、电压进行采样、数字处理，通过相应的数字计算，即由DSP对电流和电压信号实时进行256点FFT变换处理，可给出2-49次电流、电压谐波分量的幅值、相位等测量值，谐波幅值精度为2%，相位精度+/- 1-2*。再由DSP完成对电参量测量、电能累计、谐波分析、基波电能及谐波电能计算工作；计量数据通过高速接口与管理MCU进行数据交换；管理部分采用16位MCU，完成显示、数据统计、存储、通信、电表功能选择，以及初始化数据设定工作。

— 多功能

•计量有功电能、无功电能总电量及分时电量。

•计量组合无功电能

•跨月结算

•最大需量计算

•测量电压、电流及功率

•谐波电能计量：

谐波计量方式（3种）可选：

第1种基于基波计量方式：总有功电能=基波有

功电能。其有功电能计量为0.5S级。

第2种基于数字乘法器计量方式：总有功电能=基波有功电能+谐波有功电能的总加量。其有功电能计量为0.2S级。

第3种基于傅利叶变换的谐波计量方式：总有功电能=基波有功电能+谐波有功电能总加量的绝对值。其有功计量为0.5S级。

·变压器损耗补偿

·外部PT、CT比差和角差的修正和补偿。

·通信接口：2个独立的RS485接口，1个吸附式红外与远红外接口。

·负荷记录

·事件记录

·测试输出

·报警功能

·电表自诊断恢复功能

— 本文点评

威胜在国内首次推出0.2S/0.5S级、具有谐波计量功能的全电子式多功能表，是国产第三代第3类采用（计量DSP+管理MCU）高端方案的多功能表。

该新型多功能表不同计量方式的应用前景：

·第2种基于数字乘法器的计量方式，有功计量0.2S级，适应目前电价政策下的计费应用。

·第1种基于基波计量方式，有功计量0.5S级。目前，加拿大已经正式实施按基波计量收费。而国内，需争取国家出台电价新政才能应用。同时，还需研究FFT变换后的有功电能计量达到0.2S级。

·第3种基于FFT的谐波计量方式，有功计量0.5S级。目前，电价行政部门尚未出台对谐波源用户的罚则，此计量方式暂时难以实施。

6）2011年，威胜在国内首先推出DTSD341-MA1V1.0型、0.1S级高准确度结算关口多功能表。

本部分内容摘自威胜《高端计量　威胜领航》，并经编辑而成。

— 多功能表结构：

·关口表：主要由I/V变换电路（CT）、 V/V 变换电路（电阻分压），分别进入模数转换器（A/D）-具有独立电压基准 ，再到计量DSP。

·关键元器件精选国际高可靠品牌器件，如德国VAC高导磁率电流互感器、美国VISHAY高精密柱状电阻、美国18路24位高精度模数字转换器（A/D）-12.8k采样率、美国ADI的高性能外部电压基准芯片和高速DSP计量芯片、采用模数分离的多层高性能PCB，整体计量方案具备高准确度、高稳定性、高可靠、长寿命的特征。

— 高精度设计

·应用Newton- Cotes高价积分算法，快速功率潮流分辨率技术，以及硬件相位匹配技术，实现动态负荷下的高准确度计量。

·出厂有功计量准确度控制在小于+/- 0.04%；无功计量0.5S级。

·可忽略环境温度、功率因数、频率、负载电流升降变差对计量准确度影响。

·15年使用寿命周期内，计量准确度小于0.1%。

— 多功能

·正向有功电能、四象限无功电能计量（反向计量仅供参考）。

·无功计量2种组合 ，可由四象限无功电能任意组合。

·分时有功电量、无功电量。

·分时计算有功、无功最大需量。

·最多12费率，两套主副时段，时钟双备份。

·可设置6类数据负荷曲线记录，容量20M字节。

·双路RS485接口；吸附式/远红外通信接口；一路100M自适应以太网接口，支持UDP/TCP远程抄表（支持DL/T 645-2007或用户自定义协议）。

·电网事件记录丰富

·双备份数据存储，具有自检和纠错功能。

·4路空接点电能脉冲及LED电能脉冲输出

·大屏幕、宽视角LCD显示。

— 产品鉴定

2010年12月，由湖南省科技厅组织、长沙市科技局主持的“0.1S级关口电能表关键技术研发于应用”项目科技成果鉴定会在威胜科技园召开。

鉴定意见：“该项成果具有多项自主知识产权，关键技术达到国际先进水平，建议研制开发定型产品，早日实现产业化”。

— 本文点评

威胜推出0.1S级、高准确度结算关口多功能表，是国产第三代第4类采用高端计量算法的多功能表，填补国产高端电表产品的空白，超过2011年IEC电表标准的最高等级0.2S级。

目前，0.1S

级关口表已经在区域电网关口、省级电网关口、发电厂上网电量关口、负荷频繁变化的电气化铁路等关口计量点稳定、可靠运行超过10年。同时，0.1S级关口表已通过欧盟MID认证、DLMS认证，在诸

多国家得到应用。

2018年，兰吉尔在山东省电科院交流时发布：兰吉尔正在开发E860系列新一代更高精度结算关口表。E860系列3芯电能表的研发，其准确度达到IEC标准的0.1S级要求，并在软件和硬件方面，具备更先进的防窃电能力；近据了解，2023年中期，兰吉尔将发布E860系列、0.1S级关口表推向国际市场。国内电表行业对次信息，应予特别关注，关注的重点是兰吉尔0.1S级关口表的出厂控制误差，反向计量准确度，基波、谐波有功计量要求等。

7）2013年，国网推出2013版国网标准智能电表

该款智能电表是继国网2009版标准智能电表后的第2款智能电表。智能电表设计、生产，由电表企业负责提供；智能电表标准制订、入网测试、产品招标及验收，由电网计量、物资部门分工负责。

— 智能电表结构和技术设计

·结构设计：按照Q/GDW 1356-2013《三相智能电能表型式规范》、Q/GDW 1355-2013《单相智能电能表型式规范》，智能电表结构设计包括：

其一，电表参数确定

其二，显示、指示灯、停电显示

其三，外形结构及安装尺寸

其四，材料及工艺要求

·智能电表技术设计：按照Q/GDW 1827-2013《三相智能电能表技术规范》、Q/GDW 1364 -2013《单相智能电能表技术规范》，智能电表技术设计，包括：

其一，规格要求，

其二，环境条件

其三，机械及结构要求

其四，准确度要求

其五，电气要求

其六，绝缘性能

其七，电磁兼容性要求

其八，可靠性要求

其九，数据安全性要求

其十，软件要求

其十一，包装要求

其十二，通信模块互换性要求。

— 电能计量专用芯片

目前，电能计量专用芯片有4类：三相电能计量芯片、三相多功能计量芯片、单相电能计量芯片、单相电能表SOC芯片。

国内，上海鉅泉、上海贝林、复旦微电子、深圳芯海，占有国内绝大部分电表市场；国外厂商ADI、TDK、Atemel、Cirrus Logic，占有国内部分电表市场。

电能表专用芯片典型案例：

·上海贝尔：基于数字信号处理器的BL6513C三相有功功率计量芯片，输入动态范围3000：1；非线性误差小于0.1%；芯片静态功耗25mW；测量正向、反向有功功率。

·上海鉅泉：基于数字信号处理器的ATT7022E/26E/28E系列高精度、多功能三相电能计量芯片，集成了多路二阶Sigma-Delta ADC、参考电压、数字信号处理电路，内置温度传感器。输入动态范围5000：1，非线性误差小于0.1%。测量各相的有功功率、无功功率、视在功率、有功电能、无功电能，还能测量各相电流、电压、有效值、相角、功率因数、频率等参数。可准确测量41次谐波有功、无功、视在功率。

·ADI公司：4款高精度电能计量IC

ADI的ADE7878、ADE7868、ADE7858、ADE7854高精度电能计量IC，在3000：1动态范围内，可提供有功及无功电能测量0.2%的精度。同时，还能以0.1%的精度测量无功和有功功率。其中一款芯片具备基波电能测量功能。

— 多功能

按照Q/GDW 1354-2013《智能电能表功能规范》、Q/GDW 1365-2013《智能电能表信息交换安全认证技术规范》要求，2013版国网标准智能电表具有较为完整的功能。其功能：（略）。

— 本文点评

国网2013版标准智能电表是国产第三代第2类采用数字计量芯片的多功能表。

国网2009版标准智能电表在电网运行1-3年后，表计故障多，反映产品质量问题严重。为此，国网营销部下发关于整顿与加强智能电表质量管理意见的通知，并组织制定智能电表主要元器件技术规范（13项）。随后出台国网2013版智能电表标准。

2013版标准智能电表产品增加新的要求：恒定磁场防护、工频磁场防潜动、高温极限工作影响、通信模块接口带载能力、通信模块互换性，电表软件比对功能，提高智能电表计量稳定性、可靠性，防窃电能力、通信模块互联互通能力，从而电表故障率大幅降低。但是，对电表智能化项目，基波、谐波有功计量开发应用，未提出新功能。

8）2020年，国网推出2020版国网标准智能电表-新一代智能电表。

该款2020版国网标准智能电表是在2013版国网标准智能电表基础上，引用IR46 有功电能表国际计量建议重点要求开发而成。

— 智能电表结构设计

按照国网标准《三相智能电能表（2020版）通用技术规范：三，三相智能电能表型式规范》、《单相智能电能表（2020版）通用技术规范：三，单相智能电能表型式规范》的要求，2020版智能电表结构设计，包括规格要求，显示、指示灯、停电显示，外形结构及安装尺寸，材料及工艺要求。其中，电流规格的表示方式，采用最小电流Imin、转折电流Itr、最大电流Imax。

— 技术设计

按照国网标准《三相智能电能表（2020版）通用技术规范：二，三相智能电能表技术规范》、《单相智能电能表（2020版）通用技术规范：二，单相智能电能表技术规范》的要求 ，2020版智能电表技术设计，包括：

·规格要求

其一，准确度等级：有功计量，A、B、C、D级；无功计量，2级。

其二，电流规格：采用最小电流Imin、转折电流Itr、最大电流Imax表示方式。

·环境条件

·机械及结构要求

·准确度要求

其一，电能表出厂误差，采用基本最大允许误差表示。

其二，计时准确度，增加1条细则要求。

其三，影响量，引用IR46标准要求。

谐波试验 ：电压和电流电路中谐波-方顶波波形试验；电压和电流电路中谐波-尖顶波波形试验；电流电路中的间谐波/脉冲串触发波形试验；电流电路中的奇次谐波-90度相位触发波形试验。

干扰量影响试验：引用多项电磁兼容性试验项目：（略）。

·电气性能要求

·绝缘性能

·可靠性要求

·数据安全要求

·软件要求

·包装要求

·通信模块互换性要求。

— IR46有功电能表国际计量建议与IEC电表标准的不同点

·准确度表示方法：最大允许误差、基本最大允许误差、最大允许误差偏移。

·误差的可追溯性：电能表从初始固有误差、固有误差、出现异常（falut）到重大异常（falut）的数据变化过程应可以追溯。

·准确度等级：采用A、B、C、D表示，其涵盖面广，包括参比量、影响量、干扰量的变化范围。

·电能表电流工作范围表示方式：起动电流Ist、最小电流Imin、转折电流Itr、最大电流Imax。其中，从Ist到Imin有准确度计算方法。

·准确度构成：包括基本最大允许误差、影响量的允许误差、干扰的允许影响。首次提出干扰量、干扰等级、允许影响、电能表误差偏移极限。

·综合误差估计

·计量特性保护-电能表的硬件分离、软件分离。

— 多功能

按照国网智能电表（2020版）功能规范要求，2020版智能电表产品具有更为完整的功能。其功能：（略）。

— 本文点评

国网2020版标准智能电表是国产第三代第2类采用数字计量芯片的多功能表。

2020版标准智能电表的主要特征是首次将IR46标准在国产智能电表上落地应用、示范，重点采用IR46的计量准确度、计量性能保护要求。

近几年，IR46标准已经成为我国制定智能电表标准、电能表国家计量检定法规的重要内容、基础。但是，IR46标准具有局限性，目前只有有功电能表国际计量建议，多功能表的无功计量测试，还需沿用IEC电表标准，复杂化。

结语

回顾国产多功能表（智能电表、新一代智能电表）起缘、演进史，可以看到经过30年的发展，国产多功能表产业变化深刻：

·国产多功能表类型：由1992年的机械电子式多功能表，经电子式多功能表、智能电表，到2020年的新一代智能电表。

·多功能表的设计功能：从JB/T7656-95《多功能电度表》标准具有基本功能12项30条细则，发展到Q/GDW 1354 -2013《智能电能表功能规范》具有

基本功能30项119条细则。

·多功能表准确度：由1992年的有功计量1级，发展到2010年的0.1S级（采用数字乘法器）。

·2020版国网智能电表首次在国产电能表上引用IR46 有功电能表国际计量建议重点要求。

回顾以上国产多功能表发展进程，电表行业需要铭记下列单位为国产多功能表发展探索、导向取得的成果：

·华东电业管理局：1995年发布国内首部《电能计量现代化-华东电网电能计量技术现状和展望技术报告》，并组织起草首部多功能表的机械行标、电力行标。

·江西省电力试验研究所：1973年在国内首次研发出采用时分割乘法器的电子式标准电能表；之后，宁光电工厂在国内首次推出采用时分割乘法器专用集成电路的电子式多功能表。

·威胜：

1994年，在国内首次推出采用数字乘法器（微型计算机芯片）的多功能表。

2002年，研发出国内首款0.2S级、具有谐波计量功能的电子式多功能表。

2010年，在国内首次推出0.1S级高准确度结算关口电能表。

·2013年，由中国电科院主导，威胜、林洋等电表企业合作推出2013版国网标准智能电表。

2020年，推出国网新一代智能电表-智能电表（2020版).

参考文献

[1] 王长清(导师:佟为明) 智能电网高级量测体系智能电表的研究《哈尔滨工业大学硕士论文》- 2011-06-01

[2] 王静哲 失压计时器不需配置的几种条件《产业与科技论坛》- 2011-05-30

[3] 李明;李春章;江洋;朱中文 多功能电能表射频辐射抗扰度试验的诊断及对策 《测控技术》- 2010-07-18

[4] 卢瑛(导师:吴国忠) 基于MSP430电能表的设计研究与应用 《浙江大学硕士论文》- 2010-05-01

[5] 岳耀宾;孟祥忠;白星振 分布式变电站电能分时计量管理系统通信软件的设计《微计算机应用》- 2006-07-15

[6] 岳虎;郭万祝;刘苗 电力用户用电信息采集系统中集中器的调试 《工业计量》- 2011-09-15